

Голові спеціалізованої вченої ради ДФ 36.814.011
Львівського національного університету
природокористування
д.т.н., проф. Лучко Йосипу Йосиповичу

В І Д Г У К

офіційного опонента кандидата технічних наук, доцента
Андрійчука Олександра Валентиновича на дисертаційну роботу

Мазурака Ростислава Андрійовича

на тему: «Анкерування стрижневої арматури у фібробетоні»,
що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Актуальність теми дисертації. Головне завдання будівельної галузі – створення міцних, надійних, енергоефективних конструкцій. Підвищення несучої здатності залізобетонних елементів, зниження матеріаломісткості та трудомісткості їх при виготовленні і монтажі – напрямки роботи багатьох науковців-будівельників в різних країнах світу.

В сучасному будівництві найбільш поширеним матеріалом, що використовується при зведенні будівель і споруд є бетон, що є основою для виготовлення залізобетонних конструкцій. У значному переліку залізобетонних конструкцій одними із найбільш масових є згинальні несучі елементи будівель і споруд. В таких конструкціях суміжна робота арматури і бетону – це один із основних факторів їх надійної експлуатації, що реалізується завдяки процесу зчеплення арматури з бетоном в залізобетонних конструкціях.

Потрібно зазначити, що використання залізобетону з класичним армуванням та умови його роботи в багатьох конструкціях (експлуатація при вібраційних або динамічних впливах, тонкостінні елементи, дорожні конструкції, і т.д.) ставлять завдання пошуку способів підвищення тріщиностійкості, ударної міцності, морозостійкості та інших характеристик, які в свою чергу залежать від міцнісних властивостей матеріалу. Одним із рішень в цьому напрямку є застосування дисперсно армованого бетону.

Комбінування жорстких – і через це зі значними резервами міцності – волокон (фібр) з матрицею (бетоном) дозволяє значно підвищити фізико-механічні властивості конструкцій.

Волокна фібробетону здатні блокувати розвиток мікротріщин у місцях контакту поперечних ребер стрижнів із бетоном, залучати у спільну роботу більші обсяги шарів фібробетону.

На сьогодні зчеплення арматури у фібробетоні – це повністю не досліджений напрямок будівельної науки, адже значна кількість чинників впливає на міцність зчеплення.

У зв'язку з цим встановлення особливостей анкерування стрижневої арматури класу А500С у дисперсно армованому фібробетоні та розроблення пропозицій щодо розрахунку нормальних і дотичних напружень на різних стадіях роботи, а також пропозицій щодо визначення довжини анкерування є актуальним завданням.

Актуальність теми дисертаційної роботи та проведених досліджень підтверджена її зв'язком із науково-дослідними роботами кафедри будівельних конструкцій Львівського національного університету природокористування (м. Дубляни).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.
Дисертаційна робота виконувалася згідно з тематикою науково-дослідних робіт кафедри будівельних конструкцій на 2016 – 2020 рр. в рамках виконання теми факультету будівництва та архітектури Львівського національного аграрного університету «Ресурсоощадні конструктивно-технологічні вирішення будівель і споруд аграрно-промислового комплексу та архітектурно-планувальні аспекти розвитку сільських територій» (обліковий номер держреєстрації 0221U100902) і факультетської теми на 2021 – 2025 рр. «Ефективні технології і конструкції в будівництві та архітектура села» (номер держреєстрації 0121U100335). Згідно договору № 26/05 від 26 травня 2021 р. між ТзОВ «Т.В.Д» і ЛНУП – здійснено науковий і лабораторний супровід виробничої програми при будівництві об'єктів.

Варто зазначити, що результати експериментально-теоретичних досліджень використано в навчальному процесі Львівського національного університету природокористування (м. Дубляни) для підготовки фахівців будівельної галузі.

Коротка характеристика змісту дисертації. Дисертаційна робота має класичну структуру: вона складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків до дисертаційної роботи, списку використаних літературних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 191 сторінку друкованого тексту, основний її зміст викладено на 154 сторінках, у ній присутні: 59 таблиць, 53 рисунки, перелік із 142 найменувань використаних літературних джерел на 16 сторінках і трьох додатків.

Дисертація написана українською мовою, її структура та оформлення відповідають установленим вимогам. Вона характеризується єдністю змісту.

У *вступі* наведена загальна характеристика дисертаційної роботи, автором обґрунтовано актуальність проблеми; визначено мету, завдання, об'єкт, предмет та методи досліджень; наведено зв'язок із науковими програмами та особистий внесок здобувача; описано практичне значення та наукову новизну, а також апробацію та впровадження дисертаційного дослідження.

У *першому розділі* проведено огляд і аналіз науково-технічної літератури в якій розглянуто загальні відомості та описано результати існуючих досліджень, що висвітлюють питання анкерування та зчеплення арматури. Подано аналіз існуючих методів розрахунку зчеплення арматури з бетоном у залізобетонних конструкціях.

За результатами аналітичного огляду літератури, який свідчить про те, що питання зчеплення стрижнів серпоподібного профілю з бетоном, армованим фіброю зі загнутими кінцями типу HE1050 українського виробництва, практично не вивчені, сформульовано мету та завдання досліджень дисертаційної роботи.

Висновки, наведені в кінці першого розділу, дозволили вибрати напрям наукових досліджень та окреслити шляхи розв'язання визначених завдань дисертаційної роботи.

Другий розділ дисертації містить обґрунтування методики проведення досліджень. Програмою досліджень передбачено оцінку впливу міцності бетону класів C20/25, C25/30, C30/35, відношення довжини анкерування стрижня до його діаметра (8, 10, 12), коефіцієнта фібрового армування за об'ємом (0,007; 0,0125; 0,018) та діаметра стрижнів (8, 10, 12 мм) на розвиток

зсувів і напруження у стрижнях та відповідні дотичні напруження між стрижнями і сталевібробетоном.

Експериментально визначено міцнісні та деформативні характеристики бетону та арматури з випробувань кубів, призм, циліндрів та арматурних стрижнів завдовжки 50 см.

Для оптимізації обсягу експериментальних досліджень використано метод планування повного чотирьох-факторного експерименту, оскільки прийнята гіпотеза про приблизно лінійний вплив факторів на нормальні і дотичні напруження. За фактори експерименту прийнято призмову міцність бетону $f_{cm,prism}$, відносну довжину закладання стрижня у фібробетон l_b/ϕ , коефіцієнт фібрового армування за об'ємом ρ_{fv} і діаметр стрижнів ϕ . Багатофакторний експеримент використано з метою отримання рівнянь регресії для визначення напружень у стрижнях і дотичних напружень на різних стадіях роботи стрижнів при витягуванні та визначення надалі базової і необхідної довжини анкерування стрижнів у сталевібробетоні.

Представлено результати експериментальних досліджень призмових і балкових зразків, які засвідчили, що армування сталевую фіброю українського масового виробництва збільшує зчеплення арматури з фібробетоном.

Використання апробованих методик експериментальних досліджень дозволило отримати нові експериментальні дані щодо зчеплення арматури серпоподібного профілю з фібробетоном на фібрі вітчизняного виробництва та запропонувати методику визначення базової та необхідної довжини анкерування стрижнів.

Третій розділ містить результати експериментальних досліджень анкерування стрижневої арматури класу A500C у фібробетонних зразках, зароблених по центру основи призми розмірами 150×150×200 мм, на витягування. Випробувано 93 зразки, з яких 72 містили фіброве армування. За використання повного чотирьох-факторного плану-експерименту (план 2⁴) випробувано 48 зразків, що дозволило отримати рівняння регресії для визначення напружень у стрижнях і дотичних напружень між стрижнями і сталевібробетоном на початковій зсуву, за зсуву 0,1 мм і для максимальних значень напружень.

Встановлено, що на всіх стадіях роботи стрижня при витягуванні з призми, найбільший вплив на напруження зчеплення має міцність бетону та

вміст фібрової арматури, дещо менший вплив має діаметр стрижнів. Відносна довжина закладання стрижнів у фібробетон l_b/ϕ не впливала на ці напруження на початкові зсуву і при зсуві стрижнів на 0,1 мм. Довжина анкерування стрижнів у фібробетоні l_b/ϕ має незначний вплив на ці напруження при дії максимальних витягувальних зусиль.

Четвертий розділ висвітлює результати дослідження анкерування стрижнів арматури класу A500С у фібробетоні зразків балкового типу, які за своїм характером роботи максимально наближені до реальних конструкцій. Аналіз експериментально-теоретичних досліджень базувався на результатах випробувань 32 зразків балкового типу, з яких 16 містили фіброве армування.

За значеннями зовнішніх згинальних моментів балкових зразків отримано витягувальне зусилля прикладене до арматури, нормальні напруження в стрижнях, дотичні напруження між стрижнем і фібробетоном або бетоном балок.

За результатами експериментальних досліджень балкових зразків встановлено, що рівняння регресії, отримані в третьому розділі, можна використати для оцінювання нормальних напружень у стрижнях і дотичних напружень між стрижнями і фібробетоном на початкові зсуву стрижнів, при зсуві незавантаженого кінця стрижня 0,1 мм і при максимальних витягувальних зусиллях за умови множення правих частин цих рівнянь на відповідні експериментально отримані коригувальні (понижувальні) коефіцієнти.

Встановлено низку особливостей роботи стрижнів при витягуванні з зразків. Запропоновано залежність для розрахунку граничних напружень зчеплення стрижнів із фібробетоном в балкових елементах f_{bd} та алгоритм розрахунку базової та розрахункової довжини анкерування.

За результатами експериментально-теоретичних досліджень анкерування стрижневої арматури класу A500С у фібробетоні, армованому сталевую фіброю зі загнутими кінцями типу HE1050 українського виробництва сформульовано **загальні висновки** до роботи.

В кінці дисертації подано список використаних літературних джерел і додатки (Додатки А-Б).

Наукова новизна отриманих результатів дисертації повністю обґрунтована результатами експериментальних і теоретичних досліджень, що представлені автором у роботі. За результатами виконаної роботи автором:

- вперше отримано експериментальні дані про зміщення незавантажених кінців арматурних стрижнів класу А500С і відповідні зусилля витягування цих стрижнів із сталевібробетонних зразків призмового та балкового типу, армованих сталевую фіброю з загнутими кінцями типу HE1050 українського виробництва;

- на основі повного чотирьох-факторного експерименту (ПФЕ 2⁴) виявлено вплив відносної довжини анкерування стрижнів у сталевібробетонні зразки призмового типу, міцності бетону, вмісту фібрової арматури та діаметра стрижнів на напруження у стрижнях, дотичні напруження між стрижнями та вібробетоном та отримано рівняння регресії для визначення цих напружень на початку зсуву, за зсуву незавантажених кінців стрижнів 0,1 мм та за дії максимальних витягувальних зусиль;

- запропоновано визначати подані вище напруження витягування стрижнів із розтягнутих зон сталевібробетонних балкових зразків за рівняннями регресії, що використовуються і для зразків призмового типу, з множенням правих частин цих рівнянь на відповідні понижувальні коефіцієнти;

- запропоновано експериментально обґрунтовану формулу для розрахунку граничних напружень зчеплення стрижнів із сталевібробетоном і відповідний алгоритм визначення розрахункової довжини анкерування.

Практична цінність результатів дисертаційної роботи є незаперечною та полягає у тому, що запропоновано алгоритм оцінки показника розрахункової довжини анкерування стрижневої арматури серпоподібного перерізу в сталевібробетоні та обґрунтовано розрахункову залежність для розрахунку граничних напружень зчеплення.

Результати проведених досліджень були використані при:

- розрахунку несучих конструкцій залізобетонного перекриття при реалізації проекту «Порт» за адресою с. Пасіки-Зубрицькі Давидівської сільської ради Львівської області.

- розрахунку та зведенні несучих конструкцій залізобетонного перекриття при будівництві об'єкту експериментально отримані експериментально отримані «Багатоквартирний житловий будинок із вбудованими нежитловими приміщеннями та підземним гаражем на вул. Угорська, 14 у м. Львові».

– в навчальному процесі на кафедрі будівельних конструкцій ЛНУП при вивченні дисципліни «Проектування спеціальних конструкцій: залізобетонні конструкції».

Варто зазначити, що результати проведеної науково-дослідної роботи розширюють діапазон загальної теорії зчеплення арматури з фібробетоном.

Апробація наведених у дисертаційній роботі результатів є достатньою. Основні положення дисертації викладені у 6 наукових працях. Основні результати проведених досліджень містяться у статтях наукових журналів і збірників фахових спеціалізованих видань України.

Матеріали дисертаційної роботи також висвітлено в тезах доповідей п'яти міжнародних науково-технічних конференцій. Основні положення дисертації обговорювались на наукових конференціях:

- Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні технології і конструкції в будівництві та архітектура села» (Дубляни-Львів, 15-17 травня 2019 р.);
- XX Міжнародному науково-практичному форумі «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій» (м. Львів, ЛНАУ, 17-19 вересня 2019 року);
- Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні технології і конструкції в будівництві та архітектура села» (Дубляни-Львів 24-25 червня 2021 р.);
- Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні технології і конструкції в будівництві та архітектура села» (м. Львів, ЛНАУ, 16-17 червня 2022 року);
- XXIII Міжнародному науково-практичному форумі «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій» (м. Львів, ЛНУП, 4-6 жовтня 2022 року).

Робота загалом доповідалась і отримала схвалення на засіданні кафедри будівельних конструкцій і на науковому семінарі факультету будівництва та архітектури Львівського національного університету природокористування.

Щодо *достовірності результатів наукових досліджень* одержаних у дисертації, можна констатувати, що вона забезпечена шляхом виконання експериментально-теоретичних досліджень анкерування стрижневої арматури класу A500C у фібробетоні, армованому сталевую фіброю зі загнутими кінцями типу HE1050 українського виробництва. А досить високий рівень

збіжності при порівнянні теоретичних результатів із експериментальними даними свідчить про обґрунтованість прийнятих передумов і методів.

За змістом дисертаційної роботи можна зробити наступні зауваження:

1. На с. 20 в «Практичне значення одержаних результатів» вказано, що «алгоритм оцінки показника розрахункової довжин анкерування стрижневої арматури...» – Додаток А. По факту в дисертації в Додатку А подані тільки довідки про впровадження результатів дисертаційних досліджень.

2. По тексту дисертації часто використовується вислів – «закладання стрижня». В технічній літературі вживається вислів – «анкерування стрижня».

3. Потребує детального розяснення, як при виготовленні сталевібробетону технологічно забезпечувалася його однорідність. Бо на рис 2.12 зображено нерівномірне розташування фібр в об'ємі дослідного елемента.

4. В третьому розділі, для представлення отриманих результатів планованого багатofакторного експерименту, було б доцільно побудувати «поверхні відгуку», що наглядно показують взаємозалежність між трьома факторами (змінними).

5. Доцільним було здійснити дослідження міцності зчеплення стрижнів з фібробетоном, пов'язуючи її з міцністю фібробетону на розтяг, а не лише з міцністю бетону-матриці і вмістом фібри в одиниці об'єму бетону.

Наведені зауваження не знижують теоретичного та практичного значення дисертаційної роботи і можуть бути враховані в подальших дослідженнях. Вони не можуть впливати на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Дисертація Мазурака Ростислава Андрійовича є завершеною працею, в якій отримані науково обґрунтовані результати, що дають змогу вирішити важливе науково-прикладне завдання з встановлення особливостей анкерування стрижневої арматури класу А500С у фібробетоні, армованому сталевіброю зі загнутими кінцями та розробці пропозицій щодо розрахунку нормальних напружень і дотичних напружень, а також пропозицій щодо визначення базової і розрахункової довжини анкерування.

Вважаю, що за актуальністю, науковою новизною, обсягом проведених експериментальних досліджень, їхньою науковою та практичною значимістю дисертаційна робота **Мазурака Ростислава Андрійовича** на тему «Анкерування стрижневої арматури у фібробетоні» відповідає вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів №261 від 23 березня 2016 року (зі змінами і доповненнями згідно з Постановою Кабінету Міністрів №283 від 03 квітня 2019 року), Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12 січня 2022 року № 44 (зі змінами і доповненнями згідно з Постановою КМУ №341 від 21 березня 2022 року), а її автор заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент

Кандидат технічних наук, доцент,
декан факультету архітектури, будівництва та дизайну
Луцького національного технічного університету



О.В. Андрійчук

*Підпис к.т.н., доцента
Андрійчука О.В. засвідчую*

